بررسی رفتار عددی زوج دیوارهای پیش ساخته برشی زیر اثر پوش بارهای تناوبی*

هاشم شریعتمدار(۱) حمیدرضا عباسیان(۲)

چکیده *در سازه های بتنی پیش ساخته صفحه‌ای، طراحی‌ها با فرض صلب بودن اتصالات انجام می‌گیرد. ولـی، در بارهـای لـرزه ای اتـصالات وارد محدوده غیر خطی- غیر کشسان می شوند و باید رفتار واقعی سازه با در نظرگرفتن اتصالات غیر کشسان بررسی شود. در این مقاله سه گونه اتصال معمول در سازه‌های صفحه‌ای بررسی و با کمک برنامه غیر خطی ANSYS و به کارگیری پوش منحنـی‌هـای تنـاوبی، الگوسـازی شـده انـد. نتیجه‌ها نشان می دهد که الگوی رفتاری فنر غیرخطی بسیار نزدیک به رفتار واقعی اتصال می‌باشد و با حالت صلب تفاوت دارد. الگوی غیر خطی در اتصالات زوج دیوار های برشی پیش ساخته بتنی، که سامانه مقاوم در برابر بارهای جانبی زلزله هستند، به کار رفت و تحلیل‌های متفاوت انجام شد. براساس تحلیل‌های انجام شده نیروهای به وجود آمده در اتصالات و تغییر شکل‌هـای سـازه، بـا فـرض اتـصال صـلب متفـاوت اسـت و بـا الگوسازی اتصالات به صورت واقعی، نتیجه‌های دیگری به دست می‌آیند. نیروهای داخلی در اتصال با فرض غیر خطی بودن رفتار، کمتر از حالت صلب می‌شود و تغییر شکل‌های سازه نیز بیشتر است. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که کاهش نیروهای داخلی در حدود ۶/۷ برابر و افزایش تغییر شکل‌ها در حدود ٤ برابر می باشد.*

واژه های کلیدی اتصال غیرخطی، اتصال صلب، زوج دیوار برشی پیش‌ساخته، بار لرزه‌ای، تغییر شکل‌ها، نیروهای داخلی

Response of Coupled-Precast Shear Walls Subjected to Cyclic Loads

H. Shariatmadar H. R. Abbasian

Abstract *Large panel precast structures are analyzed based on the connection rigidity. However, the connections undergo nonlinear and inelastic response, when subjected to seismic loads. Thus, to study the actual behavior of structure, the connection nonlinearity should be implemented in the joints. In this paper, three conventional connection types are modeled based on the envelope of their cyclic responses using ANSYS program. The results reveal that the behaviors of modeled connections are very close to experimental results. The nonlinearity of connection is modeled in the coupled-precast shear walls, as a lateral load resisting elements, and several analyses are preformed. The results show, when the nonlinear behavior of connection are considered the forces in the connections are smaller up to 6.7 times and the displacements are greater up to 4 times in comparison with those for rigid connection state, respectively.*

Key Words Inelastic Connection, Coupled-Precast Shear Walls, Seismic Load

* نسخه‌ی اول مقاله در تاریخ ۱۳۸۸/۵/۵ و نسخه‌ی نهایی آن در تاریخ ۱۳۸۹/۱۱/٤ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) نویسنده‌ی مسئول، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

(۲) دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد گرایش سازه، دانشگاه سمنان

مقدمه

برای ساخت سازه‌ها در مدتی کوتاه، استفاده از بتن پیش ساخته بسیار اهمیت دارد. همه ساختمان‌ها مانند ساختمان‌های صنعتی، پارکینگ‌ها، ساختمان‌های تجاری، مجتمع‌های مسکونی، هتل‌ها، مدارس، مرکزهای تفریحی، پل‌ها و سازه‌های دیگر را می‌توان با کاربرد بتن پیش ساخته بنا کرد. ساختارهای پیش ساخته دارای برتری‌های زیادی است که این برتری‌ها شامل پیش ساختگی، پیش تنیدگی و بتنی بودن این ساختارها هستند. در صنعت پیش‌ساخته معمولی سازه‌های صفحه‌ای بزرگ برای ساختمان‌های مسکونی به کار می رفت در حالی‌که سازه‌های پیش ساخته ترکیب شده از اجزای خطی تیر و ستون بیشتر برای بناهای صنعتی یک تا سه طبقه کاربرد داشت [1].

در بیشتر موردها، اتصالات بین اعضای پیش‌ساخته، ضعیف‌ترین بخش در این گونه سازه‌ها هستند. به طوری که طراحی و محاسبه سازه‌های پیش ساخته بیشتر به کارکرد اتصالات بین قطعات پیش ساخته وابسته است. بنابراین، اجرای مناسب و اقتصادی در سازه‌های بتنی پیش ساخته بستگی به انتخاب درست و طراحی اتصالات دارد.

نتیجه‌های آزمایشگاهی روی اتصالات در سازه‌های بتنی پیش ساخته نشان داده است که پیش از جاری شدن فولاد و در محدوده خطی رفتار صفحه‌ها، اتصالات، رفتار غیر خطی دارند و شروع به جاری شدن می‌کنند [2,3].

در سال ۲۰۰۲ هوفینز و همکاران آزمایش‌هایی روی دیوارهای برشی با اتصالات قایم انجام دادند. این اتصالات خشک و از صفحه‌های فلزی تشکیل شده بودند. هدف از این آزمایش‌ها بررسی رفتار اتصالات زیر اثر بارهای لرزه‌ای شبیه‌سازی شده بود. بارهای جانبی تناوبی در صفحه دیوار وارد شد که این بارها، در اتصالات نیروی برشی پدید می‌آمدند. نتیجه‌های آزمایش‌ها نشان می‌دهد که این گونه اتصالات شکل پذیری بسیار کمی دارند و برای منطقه‌های لرزه خیزی زیاد و خیلی زیاد (نواحی ۳و ٤) مناسب نیستند. بنابراین، سفارش‌هایی برای بهبود در رفتار پیشنهاد شد [4]. هولدن و همکاران رفتار لرزه‌ای دیوارهای پیش ساخته پس تنیده را در سال ۲۰۰۳ مورد بررسی قرار دادند. نتیجه‌های بررسی‌ها نشان داد که دیوارهای مورد بحث می‌توانند رفتاری مناسب داشته باشند و تا مرز ۳ درصد تغییر مکان نسبی بدون آسیب دیدگی باقی می‌مانند [5]. در سال ۲۰۰٤ پرز و همکاران کار تحلیلی روی دیوارهای ساخته شده از صفحه‌های پیش ساخته که در برای عمودی با اتصالات شکل پذیر به یکدیگر متصل شده و در پی نیز با فولادهای پس کشیده مهار می‌شدند، انجام دادند. نتیجه‌های تحلیل‌ها با روش‌های عددی (Close Form Expression) مقایسه شد [6]. نولن در سال ۲۰۰۵ کار پژوهشی برای بررسی یکپارچگی در سازه های قابی و دال‌های پیش ساخته روی اتصالات انجام داد. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که اتصالات بتنی پیش ساخته با فراهم کردن طول پیوستگی روی هم گذاری مساوی با ده برابر قطر میل گرد می‌توانند یکپارچگی در این سامانه‌ها را فراهم سازند [7]. ول و همکاران در سال ۲۰۰۷ بر روی اتصالات خشک جدا از هم در دیافراگم‌های ساخته شده از مقطع T شکل دوتایی به مطالعه پرداختند. هدف از این مطالعه ارایه بنیادهای تحلیلی برای رفتار کشسان در صفحه اتصالات این سامانه‌ها و بررسی رفتار و چگونگی توزیع نیروها در اتصالات بود. نتیجه‌های رفتار دیافراگم‌ها با اتصالات خشک جدا از هم با حالت ساخته شده در جا با یکدیگر مقایسه شد. هیچ گونه بررسی در حالت غیرخطی و غیرکشسان صورت نگرفت [8]. باربوزا و همکاران در سال ۲۰۰۸ کارهای پژوهشی آزمایشگاهی روی ظرفیت باربری اتصالات با ملات پر کننده در سازه‌های پیش ساخته بتنی انجام دادند. در این مطالعه متغیرهای اصلی شامل گونه مواد، ضخامت لایه‌ها، نسبت مقاومت مواد پرکننده به مقاومت بتن پیش‌ساخته، مقاومت فشاری بتن و استفاده از میل‌گردها در نواحی اتصال بود. نتیجه‌ها نشان داد که ضخامت مناسب لایه حدود ۲۲/٥

میلی‌متر و استفاده از ملات با مقاومت فشاری بزرگ‌تر از مقاومت بتن پیش ساخته رفتار اتصال را بهبود می‌دهد. هم چنین استفاده از میل‌گردهای اضافی در محل اتصالات شکل پذیری را بهبود داده ولی افزایشی در ظرفیت باربری اتصال نخواهد داشت [9].

بررسی کارهای پژوهشی نشان می‌دهد که تاکنون در بیشتر پژوهش‌ها به رفتار خود اتصال پرداخته شده و به ندرت رفتار بخشی از سازه را بررسی کرده‌اند. در همه پژوهش‌های انجام شده تاکنون، اتصالات پیش ساخته صفحه‌ای، زیر اثر تنها یک نیروی موازی با اتصال (نیروی برشی) قرار گرفته‌اند. درصورتی که در یک سازه کامل ساخته شده از جزءهای پیش ساخته زیر اثر نیروهای جانبی، به اتصالات افقی و قائم در اجزای صفحه‌ای پیش ساخته تشکیل دهنده دیوار برشی، ترکیبی از نیروهای داخلی موازی (برشی) و عمود بر اتصال (محوری) وارد می‌شوند. بنابراین بررسی و مطالعه رفتار این گونه اتصالات در ترکیب اندرکنش نیروهای محوری – برشی ضروری می‌باشد. همچنین با توجه به کاربری زیاد دیوارهای پیش ساخته برشی در کارهای مقاوم‌سازی و تولید صنعتی ساختمان، مطالعه و تحقیق رفتار سامانه سازه‌ای کامل، بسیار لازم است.

در این مقاله نخست الگوسازی اتصالات زیر اثر اندرکنش نیروهای تناوبی (پوش منحنی‌های هیسترزیس) برشی و محوری انجام شده و با توجه به نتیجه‌های آزمایشگاهی درستی الگوسازی تایید شده است. سپس روی دیوار برشی مرکب از صفحه ها و روی سازه کامل تشکیل شده از دیوارهای برشی پیش ساخته تحلیل شده است و رفتار غیر خطی غیر کشسان تناوبی اتصالات و هم‌چنین اثر اندرکنش نیروهای وارد بر اتصال در این سامانه‌ها درنظر گرفته شده است. در ادامه، رفتار سازه و توزیع نیروها و بنیادهای شکل پذیری مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

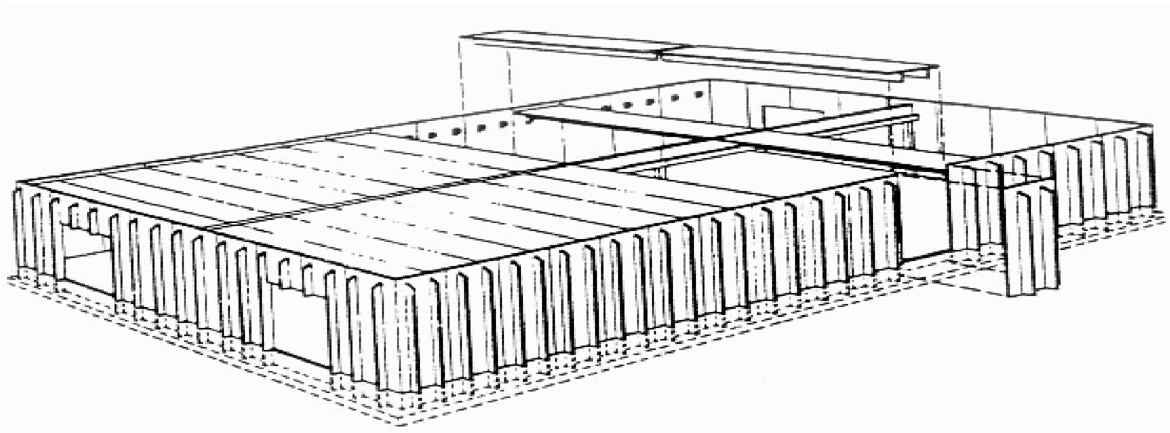
سامانه صفحه‌ای با عضوهای T شکل دوتایی

در این پژوهش یکی از سامانه‌های صفحه‌ای بررسی شده که از قطعه‌های T شکل دوتایی ساخته شده‌اند. در این سامانه همه بخش‌ها شامل دیوارها و کف‌ها به صورت پیش‌ساخته از قطعه‌های دوتایی T تشکیل شده‌اند. این قطعه‌ها در فاصله‌های مشخص با کمک اتصال بین دو قطعه به هم وصل شده و یک ساختمان پیش ساخته را به وجود آورده‌اند. T های دوتایی برای دهانه‌های بین ۹ تا ۲۱ متر نسبت به مقطع‌های T و مستطیلی شکل، اقتصادی‌تر بوده و برای کاربردهای صنعتی استاندارد شده‌اند. شکل (۱) اجزای یک ساختمان یک طبقه صنعتی با دیوارهای صفحه‌ای بتنی پیش ساخته که از T های دوتایی هستند را نشان می‌دهد [2].

رفتار سازه‌های واقعی نشان داده است که در هنگام زلزله حتی پیش از جاری شدن فولاد در صفحه‌های پیش ساخته، اتصالات شروع به جاری شدن می‌کنند. در واقع صفحه‌ها درمحدودهٔ کشسان باقی مانده واتصالات بین آن‌ها وارد محدودهٔ مومسان رفتارخود می‌شوند. دلیل آن مقاومت کمتر اتصالات نسبت به صفحه‌های اطراف آن است؛ مهم‌تر این‌که، این مقاومت با بارهای تناوبی کاهش می‌یابد.

اتصالات A، B و C

در بین اعضای یک سازه با T دوتایی انواع اتصالات به کار می‌رود. در این پژوهش سه گونه اتصال خشک با میل‌گرد فولادی که معمول‌تر از دیگر اتصالات هستند، در الگوسازی‌ها به کار رفته‌اند. این اتصالات با نمادهای A، B و C مشخص شده‌اند. شریعتمدار برروی نمونه‌هایی که شامل این اتصالات بودند، پژوهش‌های آزمایشگاهی انجام داده است و هر اتصال را با توجه به تحلیل‌های انجام شده در یک صفحه با ابعاد ۵۰ × ۸۰۰ × ۱۳۰۰ میلی‌متر بررسی کرده است. معرفی این نمونه‌ها و نتیجه‌های پژوهش بر روی آن‌ها در بخش‌های بعدی آمده‌اند [10,11,12,13].



شکل ۱ ساختمان یک طبقه با عضوهای T دوتایی

اتصال A

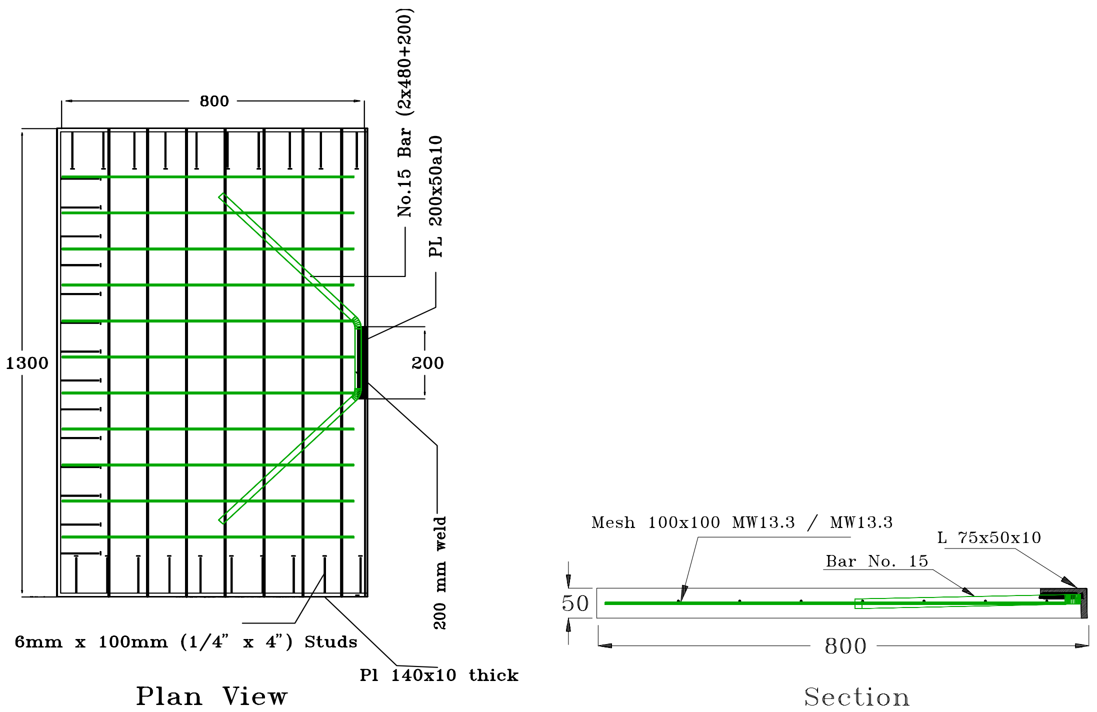
در این اتصال از میل‌گرد آجدار شمارهٔ ۱۵ استفاده شده است. میل‌گردها دارای خم ٤٥ درجه با قطر داخلی ۹٥ میلی‌متر هستند. طول بخش مستقیم آن ۲۰۰ میلی‌متر و طول بخش‌های مایل آن ٤۸۰ میلی‌متر است. میل‌گرد در بخش مستقیم خود به یک نبشی فولادی با ابعاد ۱۰ × ٥۰ × ۷٥ میلی‌متر و با طول ۳٥۰ میلی‌متر جوش شده است. صفحه‌ها با شبکه‌های ۱۳/۳ M W ۱۳/۳/ ۱۰۰MW × ۱۰۰ (ابعاد ۱۰۰ mm × ۱۰۰mm، A_s=۱۳/۳mm²) مسلح شده که نسبت فولاد در هر برای ρ = ۰/۰۰۲۷ می‌باشد. شبکه‌ها در بخش میانی ضخامت ٥۰ میلی‌متر قرار دارند و میانگین پوشش بتن برای آن‌ها برابر ۲۰/٥ میلی‌متر است. جزییات این اتصال در شکل (۲) ارایه شده است [10,11,12].

اتصال B

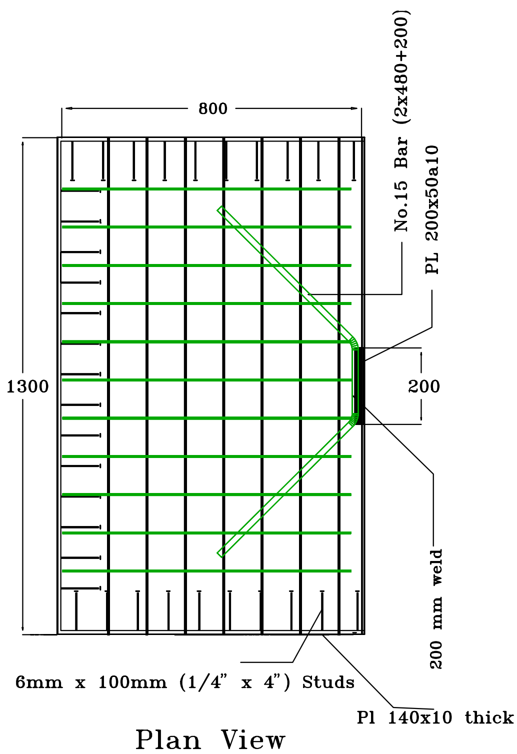
در این اتصال از میل‌گرد شمارهٔ ۱٥ استفاده شده که با زاویه ٤٥ درجه خم شده است و در انتهای هر بخش مایل آن، یک قلاب استاندار ۹۰ درجه قرار داده شده است. طول بخش‌های مایل برابر ٤۰۰ میلی‌متر به علاوه دوازده برابر قطر میل‌گرد و بخش مستقیم آن دارای طول ۲۰۰ میلی‌متر است. میل‌گرد در بخش مستقیم خود و مقداری از بخش مایل آن به نبشی فولادی با ابعاد ۱۰ × ٥۰ × ۷٥ میلی‌متر و طول ۳٥۰ میلی‌متر جوش شده است. شبکه‌های فلزی مانند اتصال A هستند. جزییات این اتصال در شکل (۳) نشان داده شده است [10,11,12].

اتصال C

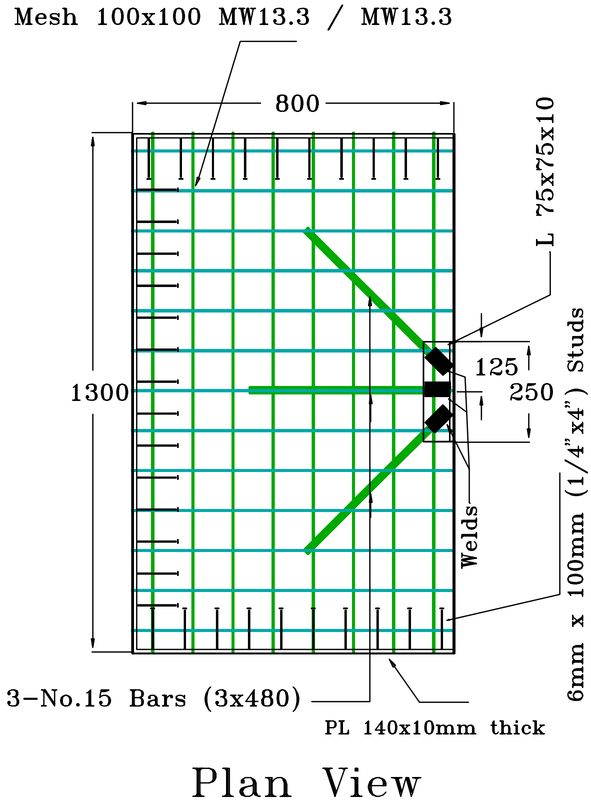
در این اتصال سه عدد میل‌گرد شمارهٔ ۱٥ به کار رفته است که دو عدد از میل‌گردها با زاویهٔ ٤٥ درجه نسبت به نیروی برشی در اتصال و میل‌گرد سوم در برای عمود بر آن قراردارند. همه میل‌گردها به نبشی فولادی با ابعاد ۱۰ × ٥۰ × ۷٥ میلی‌متر جوش شده‌اند. وجود میل‌گرد عمودی باعث افزایش مقاومت اتصال و افزایش مقاومت پیچشی آن خواهد بود. مش‌های فولادی شبیه اتصالات A و B هستند. شکل (٤) جزییات این اتصال را نشان می‌دهد [10,11,12].



شکل ۲ جزییات اتصال A [10]



شکل ۳ جزییات اتصال B [10]



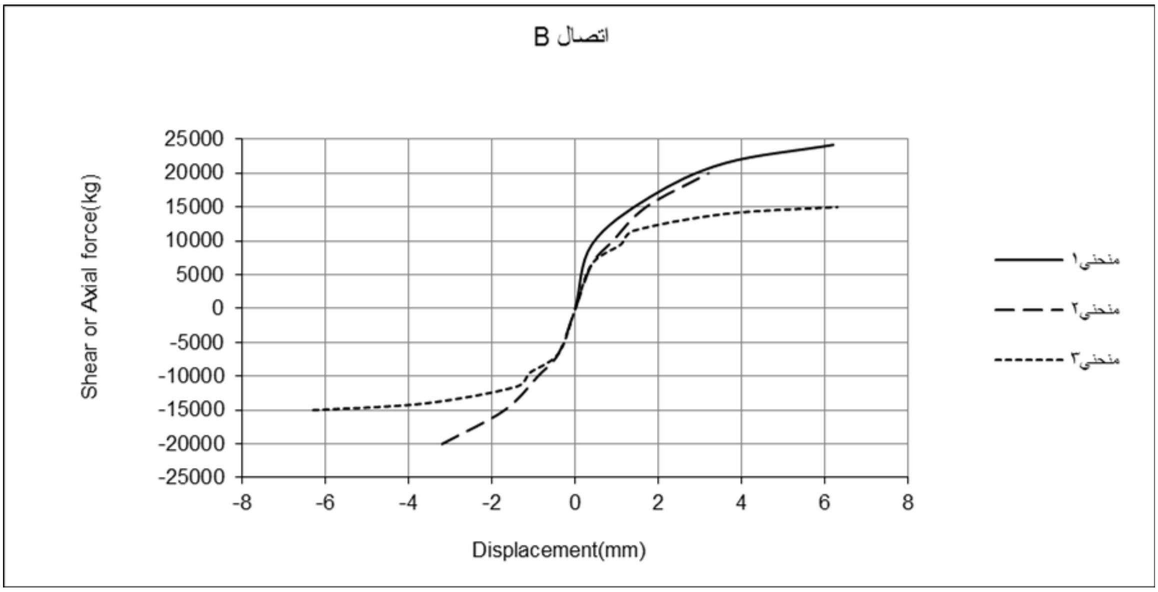
شکل ٤ جزییات اتصال C [10]

نتیجه‌های آزمایشگاهی برروی اتصالات A، B و C

اتـصالات A، B و C زیـر اثـر بارهـای ایـستا وچرخـه‌ای تناوبی، آزمایش شده است [10]. در این آزمایش، تعدادی از نمونه‌ها زیر بار ایستای افزایشی و تعـدادی دیگـر زیـر بار لرزه‌ای تناوبی قرار گرفته‌انـد و منحنـی‌هـای رفتـاری آن‌ها به دست آمده است. پوش منحنی‌های آزمایـشگاهی نیروی برشی و محوری برای اتصال B (به صورت نمونه) در شکل (٥) ارایه شده است. در این آزمـایش‌هـا نیـروی برشی و محوری به ترتیب موازی و عمود بر اتـصال وارد شده‌اند. همان‌گونه که در منحنی رفتاری دیـده مـی‌شـود، رفتار غیرخطی و غیرکشسان کامل می‌باشد و سازه زیر اثر بارگـذاری افزایـشی در محـدوده ناکشـسان کامـل رفتـار می‌کند.

الگوسازی و تحلیل به کمک نرم افزار ANSYS

نرم افزار ANSYS در سال ۱۹۷۱ با شـرکت آمریکـایی Swanson به عنـوان یکـی از پیـشگامان نـرم افزارهـای اجزای محدود ساخته شد و مـورد اسـتفادۀ پژوهـشگران قرار گرفت. این نرم افزار در دسته اولـین نـرم‌افزارهـایی است که تحلیل‌هـای غیرخطـی و دیگـر تحلیـل‌هـا را در بستۀ نرم افزاری خود قرار داد [١٤].



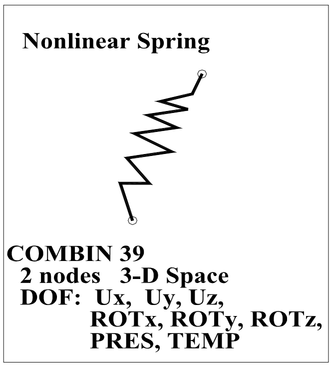
شکل ۵ منحنی۱) نمودار نیروی برشی- تغییرشکل در حالت بار ایستای افزایشی برای اتصال گونه B [10]
منحنی۲) پوش منحنی‌های بارگذاری تناوبی برشی دراتصال گونه B [10]
منحنی۳) پوش منحنی‌های بارگذاری تناوبی محوری در اتصال گونه B [10]

جزءهای به کار رفته در الگو سازی

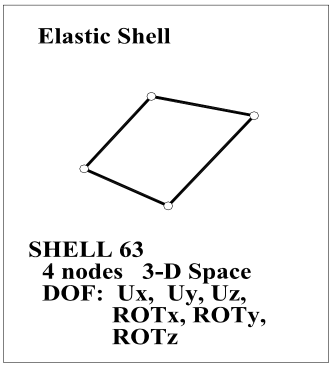
در پژوهش حاضر الگوسازی شامل دو بخش می‌باشد که عبارتند از:

الگو سازی اتصالات. با توجه بـه آزمـایش‌هـای انجـام شده در دانشگاه McGill کانادا که پیش‌تر شرح داده شـد [10]، ملاحظه می‌شود کـه رفتـار اتـصالات A، B وC بـه صورت غیر خطی بوده که به روشنی درمنحنی‌های نیـرو، تغییر شکل آن‌هـا مـشاهده مـی‌شـود. ایـن رفتـار شـامل رفتارهای در محـل اتـصال هـستند. بنـابراین، همـه ایـن رفتارهای غیرخطی بتن، میل‌گردهای اتصال و شبکه‌هـای فولادی موجود غیرخطی در اتصال به صـورت فنرهـای غیر خطی الگوسازی شده‌اند. در این الگوسـازی از جـزء فنر غیر خطی Combin39 موجود در نرم افزار ANSYS استفاده شده است (شکل ٦). ویژگـی‌هـای رفتـاری غیـر خطی فنرها هماهنگ بـا نتیجـه‌هـای پـوش منحنـی‌هـای هیسترسیز و نقطه به نقطه به عنوان رفتار فنر در نظرگرفته شده است. اتصالات مورد بحث در سازه‌های پیش ساخته علاوه بر نیروهای برشی زیر اثر نیروهای عمود بر اتـصال (نیروی محوری) نیز قرار می‌گیرند. بنابراین بـرای فـراهم ساختن رفتار اندرکشی اتصال، هر اتصال با یک فنر برشی و یک فنر کششی الگوسازی شده است.

الگوسازی صفحه‌های دیوار. در ساختمان‌های با مقطـع T دوتایی زیر اثر نیروهای زلزلـه، صـفحه‌هـای دیـوار در حالت کشسان باقی می‌ماننـد و تنهـا در ناحیـه اتـصال از حالت کشسان خارج می‌شوند. از این رو، الگوسازی کـل اتصال شامل بتن و میل‌گرد اتصال و شبکه‌های صفحه‌هـا در فنرهای غیر خطی گنجانده شده اسـت. در الگوسـازی صفحه‌های دیوار از جـزء کشـسان Shell 63 کـه در نـرم افـزار ANSYS موجـود مـی‌باشـد، اسـتفاده شـده اسـت (شـکل ٦).



Nonlinear Spring



Shell 63

شکل ٦ جزءهای به کار رفته در الگوسازی

الگوسازی اتصالات A، B و C

اتصالات زیر اثر بارهای چرخه‌ای تناوبی آزمایش شده و پوش منحنی‌های هیسترسیز برای این اتصالات با شریعتمدار محاسبه و ارایه شده است [10]. پوش منحنی‌ها معیار اصلی و بیان کننده رفتار غیرخطی- پویایی اتصالات می‌باشند. با توجه به این مطالب‌ها و کاربردی شدن پژوهش، الگوسازی اتصال بر پایه پوش منحنی‌های تناوبی انجام گرفته است.

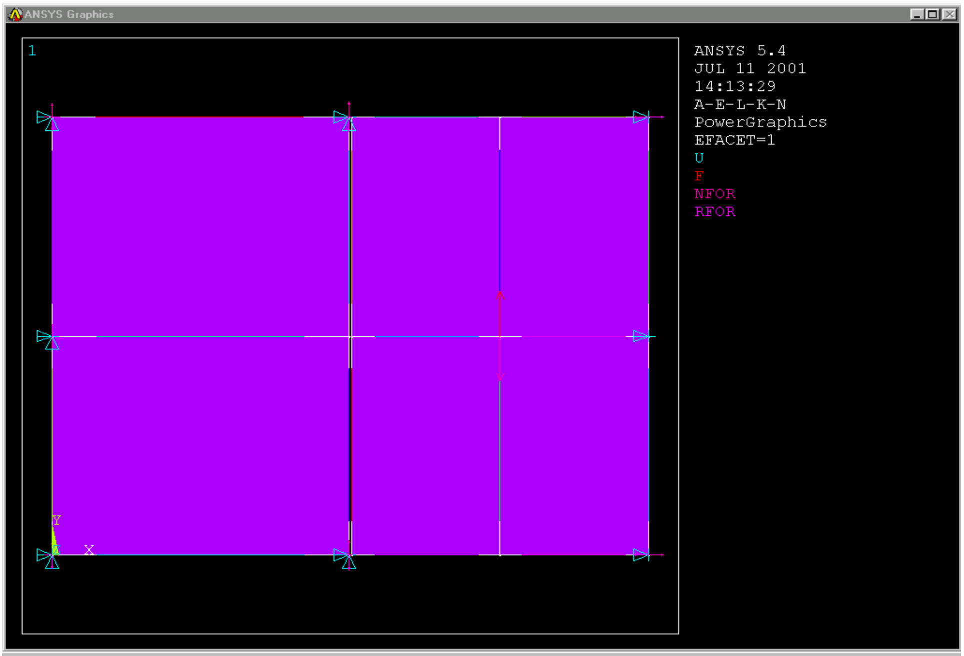
در الگوسازی اتصال، دو صفحه با ابعاد ۵۰ ×۸۰۰ ×۱۳۰۰ میلی‌متر با فاصله استاندارد ۸ میلی‌متر از یکدیگر قرار گرفته‌اند و یکی از صفحه‌ها ثابت شده و در مرکز صفحه دیگر نیرو وارد شده است. بین دو صفحه یک‌بار اتصال برشی و یک‌بار اتصال کششی الگوسازی شده است. الگوی جزء محدود ارایه کننده جزییات اتصالات در شکل‌های (۷) و (۸) به نمایش درآمده است. نتیجه‌های جابه جایی‌های حاصل از الگوسازی اتصالات A، B و C که در مرکز صفحه های متحرک شکل‌های (۷) و (۸) اندازه‌گیری شده‌اند، در شکل‌های (۹) تا (١٤)، با نتیجه‌های آزمایشگاهی مقایسه شده‌اند. با مشاهده نمودارها ملاحظه می شود که هماهنگی خوبی بین نتیجه‌های الگوسازی و آزمایشگاهی وجود دارد. به گونه‌ای که نتیجه‌های آزمایشگاهی نتیجه‌های رایانه‌ای را تأیید می‌کنند. بنابراین، این نتیجه به دست می‌آید که الگوسازی‌ها به طور صحیح و کامل انجام شده‌اند. از طرفی نتیجه‌ها نشان می‌دهد که با به کار گیری پوش منحنی‌های هیسترزیس آزمایشگاهی در الگوسازی به خوبی می‌توان رفتار کلی این اتصالات را زیر اثر بارهای چرخه‌ای تناوبی برآورد کرد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که، به کارگیری این الگوها در اتصالات سازه‌های واقعی و تحلیل آن‌ها زیر اثر بارهای مختلف ارایه کننده رفتار مطمئن سازه و نزدیک به واقعیت خواهد بود. منحنی‌های رفتاری به خوبی نشان می‌دهند که رفتار اتصالات ابتدا در ناحیه کشسان بوده و با افزایش بارگذاری، وارد محدوده ابتدایی غیرخطی شده که در واقع ترک خوردگی در بتن اطراف اتصالات را الگوسازی می‌کند. با تسلیم میل‌گردهای اتصال و رسیدن به حد تسلیم عمومی، رفتار کشسان- مومسان اتصال شروع شده که در روی منحنی‌ها به روشنی مشاهده می‌شود. همچنین با توجه به این که پاسخ نهایی اتصالات در محدوده غیرخطی در رفتار لرزه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، بارگذاری روی اتصالات تا حد گسیختگی ادامه داده شده و منحنی رفتار اتصال تا حد گسیختگی ارایه شده است.

نتیجه‌های نیروهای ایجاد شده در اتصالات A، B و

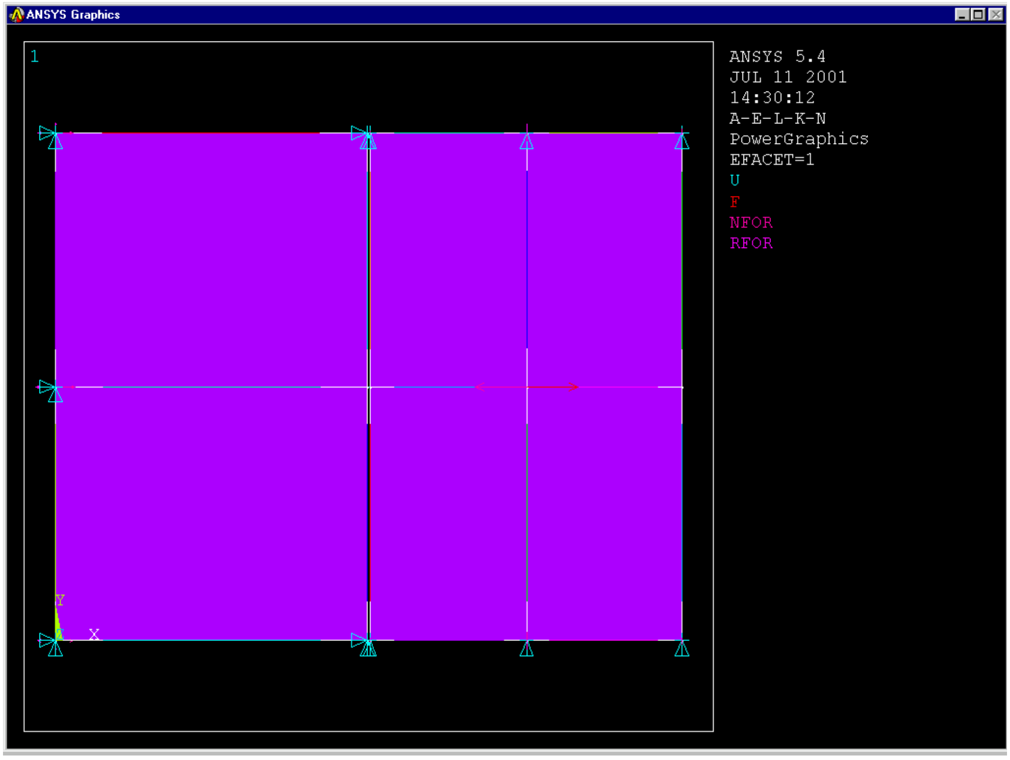
C در اثر بار گـذاری‌هـای مختلـف در جـدول (۱) ارایـه شده‌اند. همان‌گونه که مشاهده مـی‌شـود، نیروهـای تـرک خوردگی، تسلیم و گسیختگی با در نظرگرفتن اثر از میان رفتن مقاومت اتـصالات در بارهـای تنـاوبی (اسـتفاده از پوش منحنی‌های چرخه ای تناوبی) در مقایسه با بارهـای ایستا کاهش می‌یابد. از این رو سفارش می‌شود، مقاومـت این گونه اتصالات برای منطقه‌های لرزه خیز با نسبت‌های ارایه شده β که در جدول (۱) آمده‌اند کاهش داده شـود. مقدار βنسبت بار نهایی با منظور نمودن رفتار غیرکشسان تناوبی به بار افزایشی غیر تناوبی می‌باشد.

جدول ۱ مقایسه حالت‌های مختلف بارگذاری برای اتصالات A، B و C

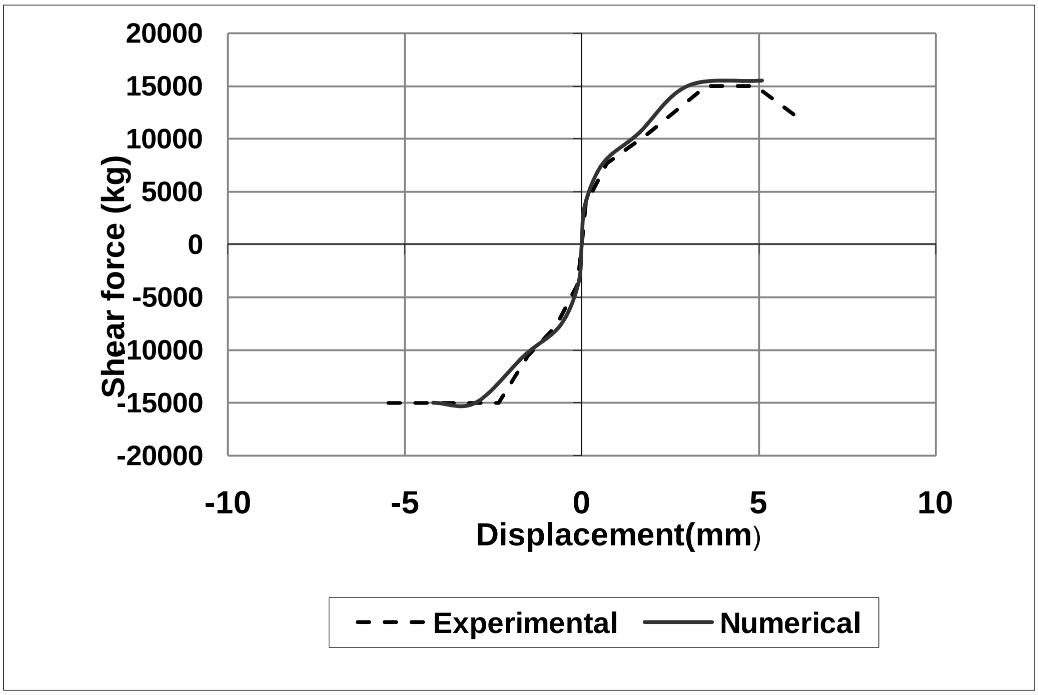
گونه بارگذاری	بارگذاری برشی افزاینده یکنواخت			بارگذاری برشی تناوبی (آزمایشگاهی)			تحلیل رایانه‌ای			
گونه اتصال	نیروی ترک خوردگی F_c (kg)	نیروی تسلیم F_y (kg)	نیروی گسیختگی F_u (kg)	نیروی ترک خوردگی F_c (kg)	نیروی تسلیم F_y (kg)	نیروی گسیختگی F_u (kg)	نیروی ترک خوردگی F_c (kg)	نیروی تسلیم F_y (kg)	نیروی گسیختگی F_u (kg)	β
A	۸۵۰۰	۱۱۰۰۰	۱۸۷۰۰	۷۷۰۰	۱۵۰۰۰	۱۵۰۰۰	۷۱۳۰	۱۴۴۴۰	۱۵۰۰۰	۰/۸۰
B	۹۵۰۰	۱۶۵۰۰	۲۴۲۰۰	۸۲۰۰	۱۵۰۰۰	۲۰۰۰۰	۷۴۵۰	۱۴۰۴۰	۱۹۳۰۰	۰/۸۰
C	۷۰۰۰	۲۰۵۰۰	۲۲۶۰۰	۶۵۰۰	۱۵۰۰۰	۱۹۰۰۰	۶۵۰۰	۱۴۰۸۰	۱۸۹۲۰	۰/۸۴



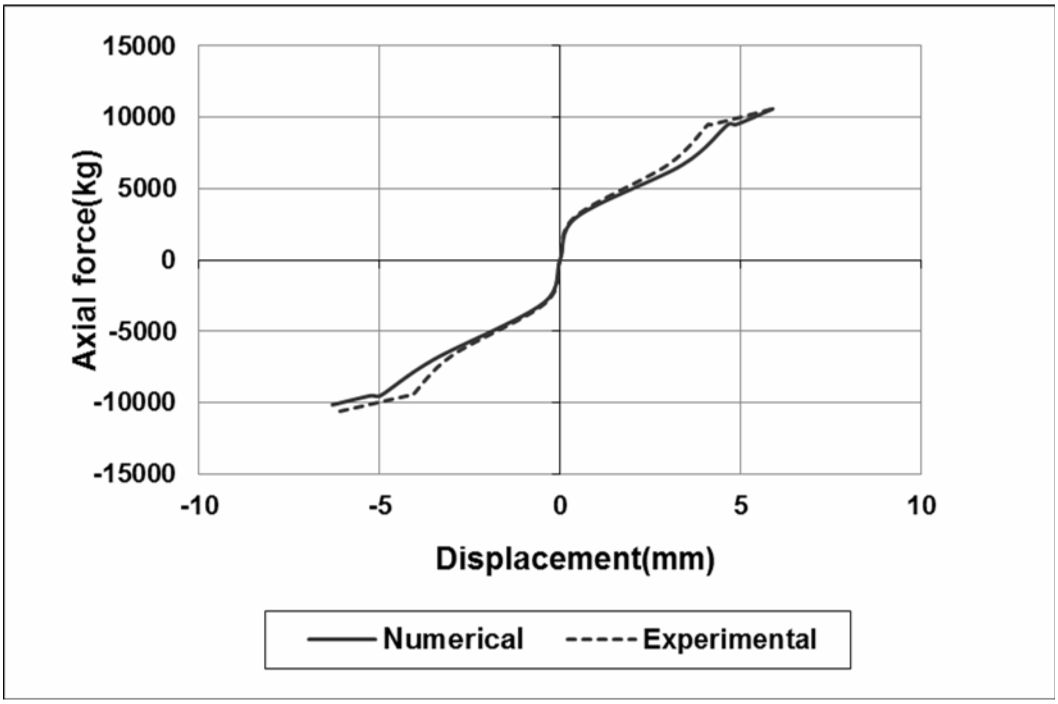
شکل ۷ الگوسازی اتصالات برشی گونه A، B و C با کمک نرم افزار ANSYS



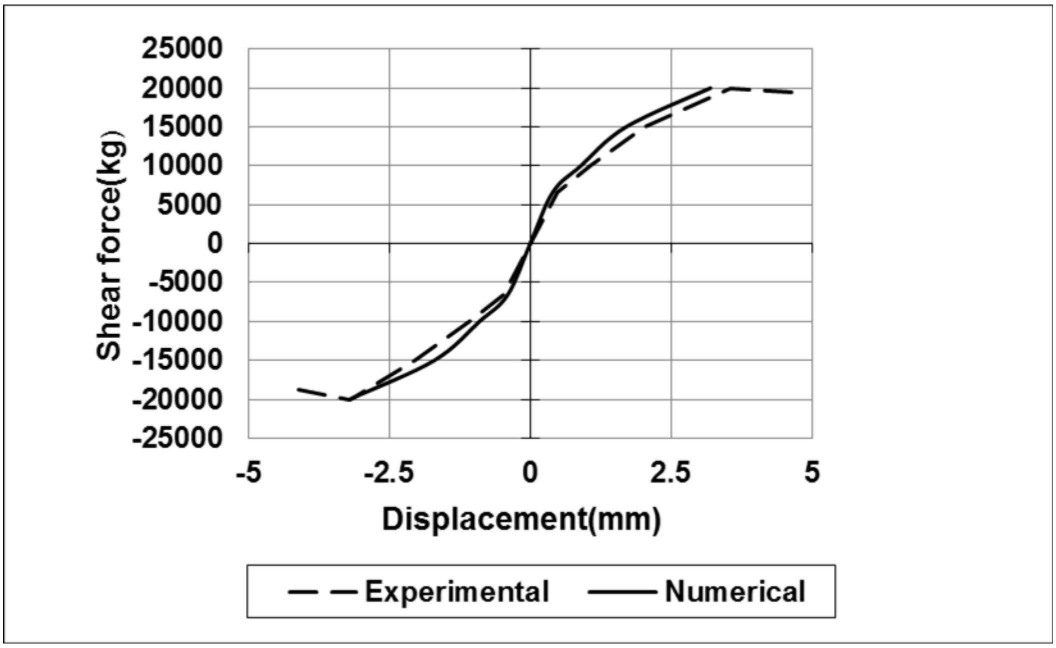
شکل ۸ الگوسازی اتصالات محوری گونه A، B و C با کمک نرم افزار ANSYS



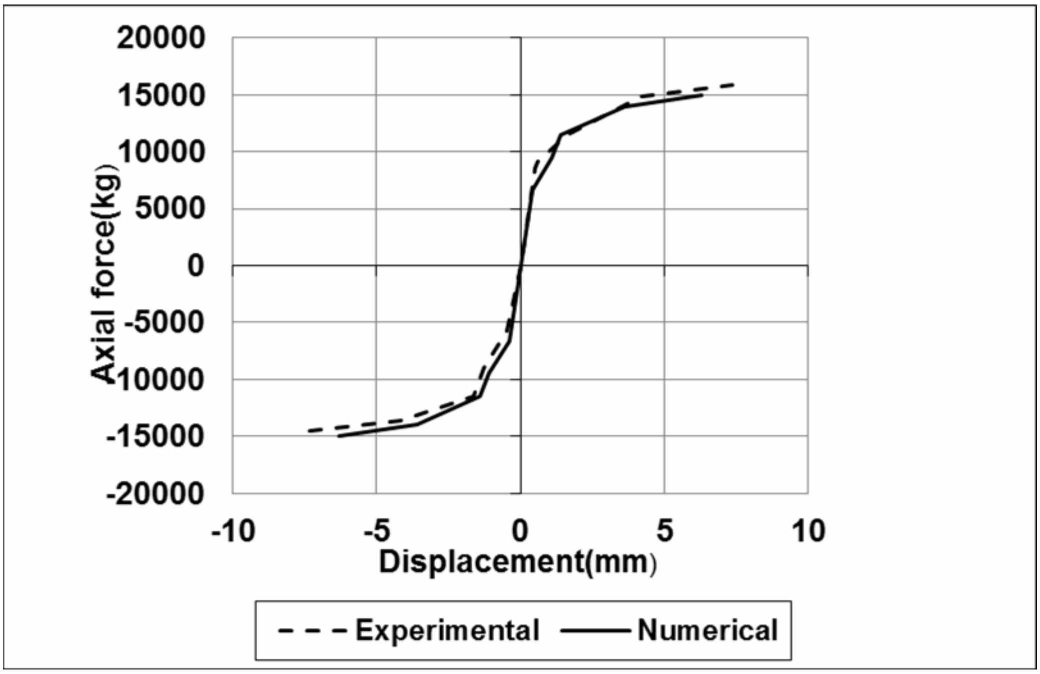
شکل ۹ مقایسه نتیجه‌های آزمایشگاهی و الگوسازی برای اتصال برشی گونه A



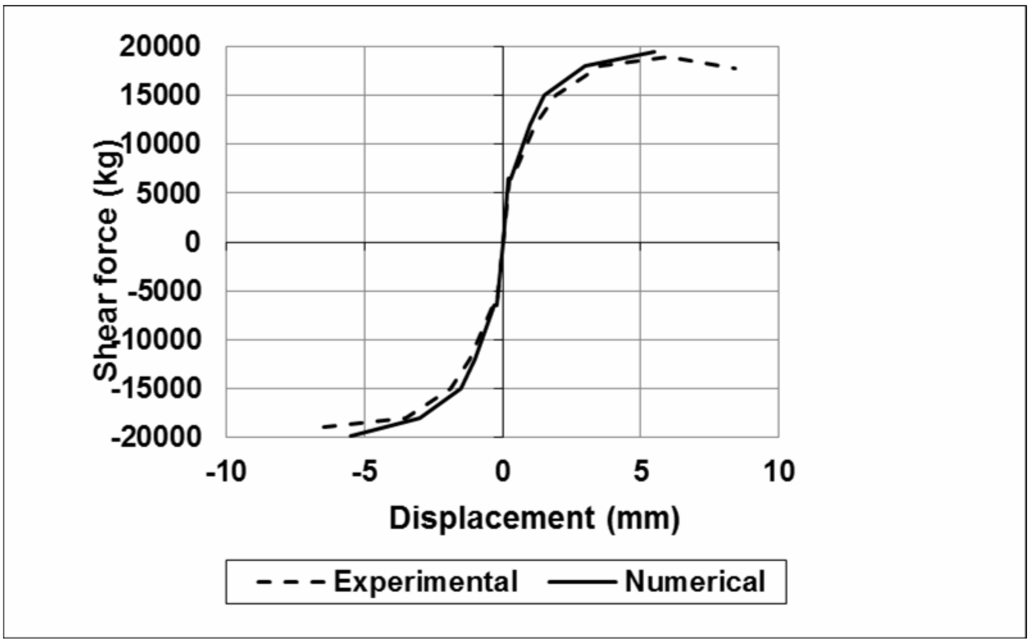
شکل ۱۰ مقایسه نتیجه‌های آزمایشگاهی والگوسازی برای اتصال محوری گونه A



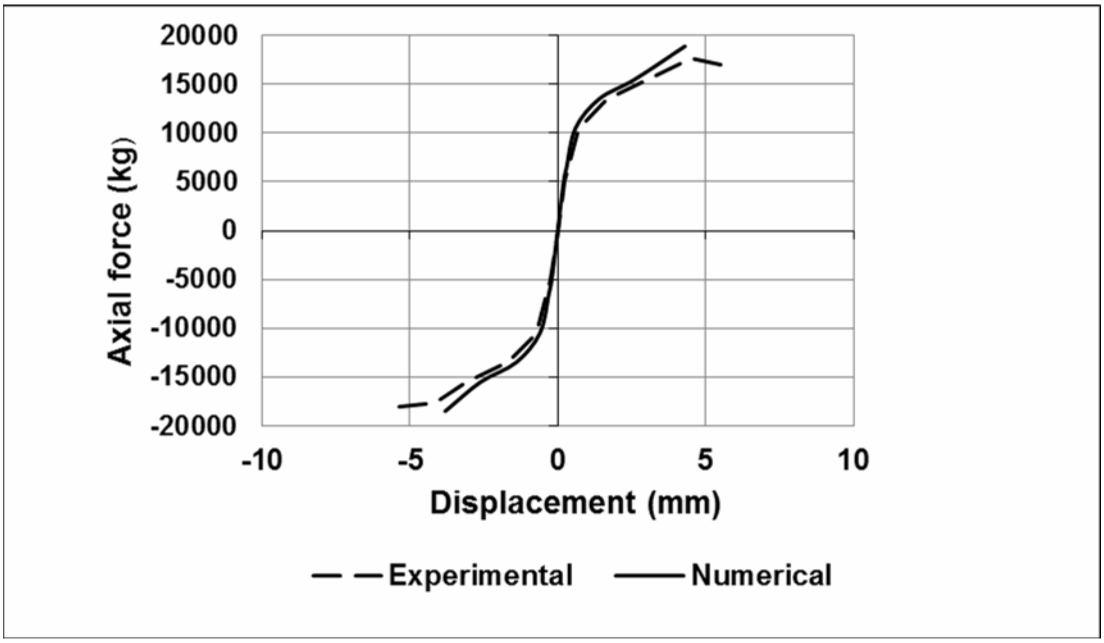
شکل ۱۱ مقایسه نتیجه‌های آزمایشگاهی و الگوسازی برای اتصال برشی گونه B



شکل ۱۲ مقایسه نتیجه‌های آزمایشگاهی و الگوسازی برای اتصال محوری گونه B



شکل ۱۳ مقایسه نتیجه‌های آزمایشگاهی و الگوسازی برای اتصال برشی گونه C

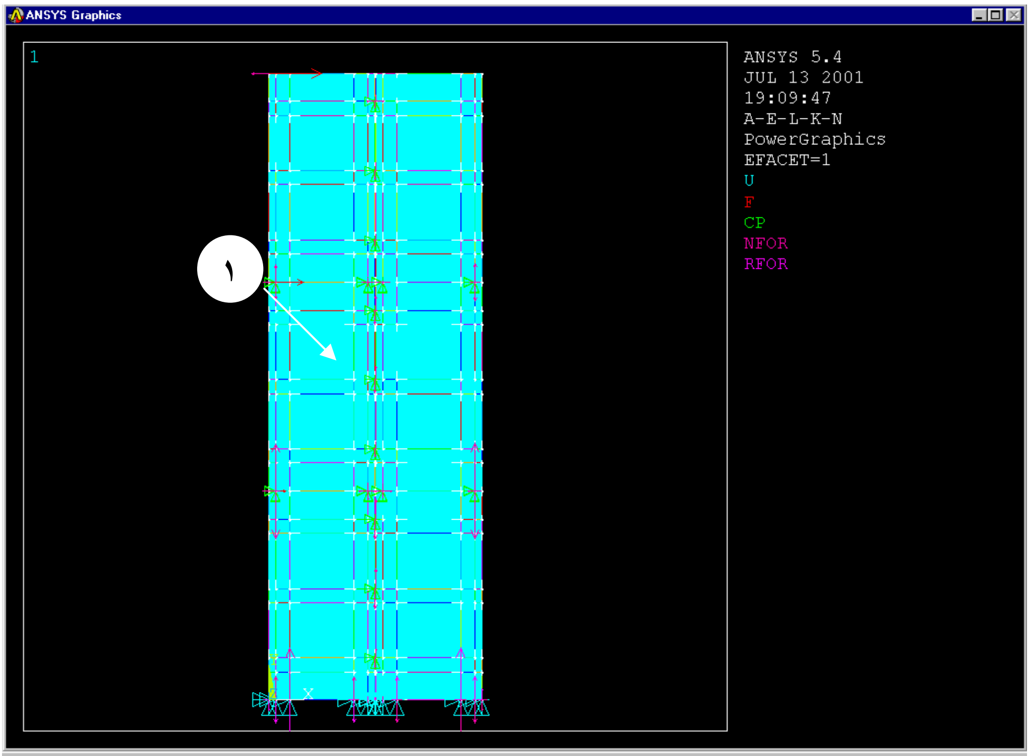


شکل ۱٤ مقایسه نتیجه‌های آزمایشگاهی و الگوسازی برای اتصال محوری گونه C

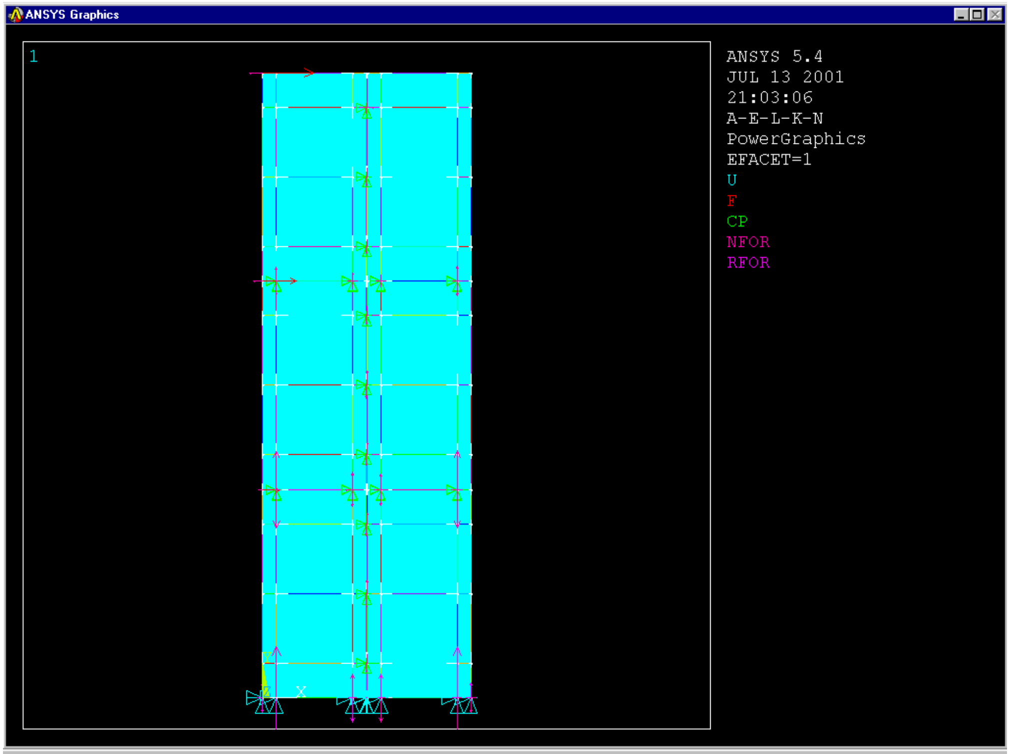
الگوسازی سازه سه طبقه

در این بخش با توجه به الگوسازی های انجام شده در بخش قبل، بخشی از یک ساختمان سه طبقه الگوسازی شده است. ابعاد صفحه‌ها و تعداد و فاصله‌های اتصالات مطابق با حالت‌های واقعی و استاندارد در یک ساختمان و برابر این مقدارها هستند. الگوی صفحه‌ها در سازه دارای ابعاد (mm) ۵۰ × (mm) ۱۵۰۰ × (mm) ۳۰۰۰ می باشد و فاصله اتصالات برابر ۱۰۰۰ میلی‌متر می‌باشند. یعنی در طول ۱۵۰۰ میلی‌متری دو اتصال با فاصلهٔ ۲۵۰ میلی‌متر از لبه قرار داشته و در طول ۳۰۰۰ میلی‌متری صفحه‌ها سه اتصال وجود دارند و فاصلهٔ اتصال از لبهٔ صفحه‌ها ۵۰۰ میلی‌متر است. تعداد ٦ صفحه با ابعاد و این فاصله‌ها الگوسازی شده‌اند. در حال حاضر بنابه روش‌های موجود در طراحی این گونه ساختمان‌ها، اتصالات موجود بین صفحه‌ها به صورت صلب در نظر گرفته می‌شوند [2].

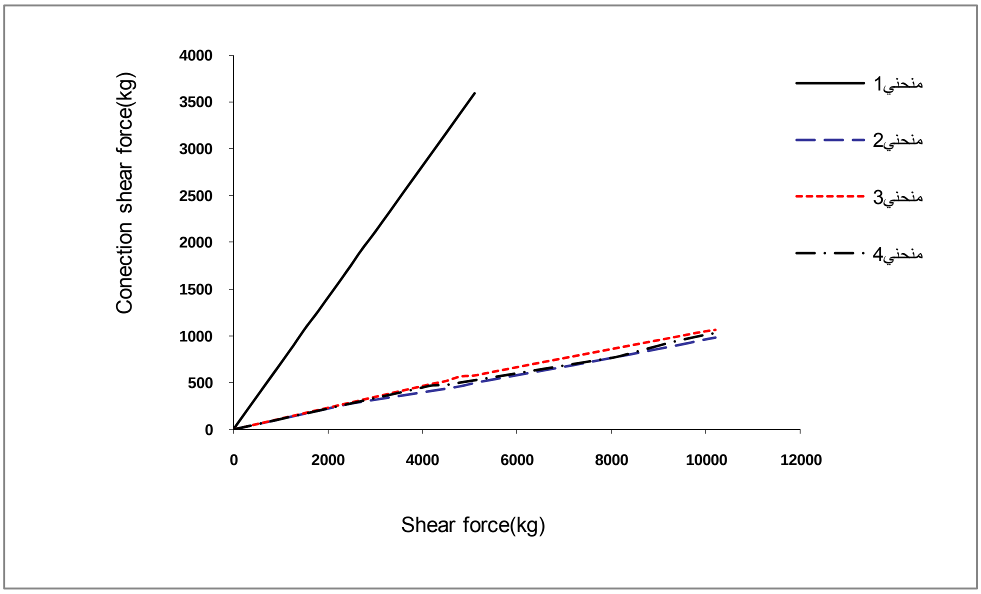
برای بررسی رفتار واقعی الگو شده در حالت غیرخطی- دینامیکی با روش‌های موجود طراحی (رفتار کشسان خطی صلب) و ارایه راهکارهای طراحی و تحلیل خردمندانه، اتصالات موجود یک‌بار با فنرهای غیرخطی همانند اتصالات A، B و C (شکل ۱۵) و یک‌بار به صورت صلب الگوسازی شده‌اند (شکل ۱٦). با توجه این نتیجه‌ها، نیروی پدید آمده در اتصال ۱ شکل (۱۵) به عنوان نمونه‌ای از کل اتصالات در حالت‌های مختلف در شکل (۱۷) وهمچنین جابه جایی دربالاترین تراز در حالت‌های مختلف در شکل (۱۸) مقایسه شده‌اند. در این منحنی‌ها Shear force نیروی جانبی وارده برسازه می‌باشد در صورتی‌که Connection shear force نیروی ایجاد شده در اتصال **۱** است.



شکل ۱۵ الگوسازی ساختمان سه طبقه با اتصالات شکل پذیر



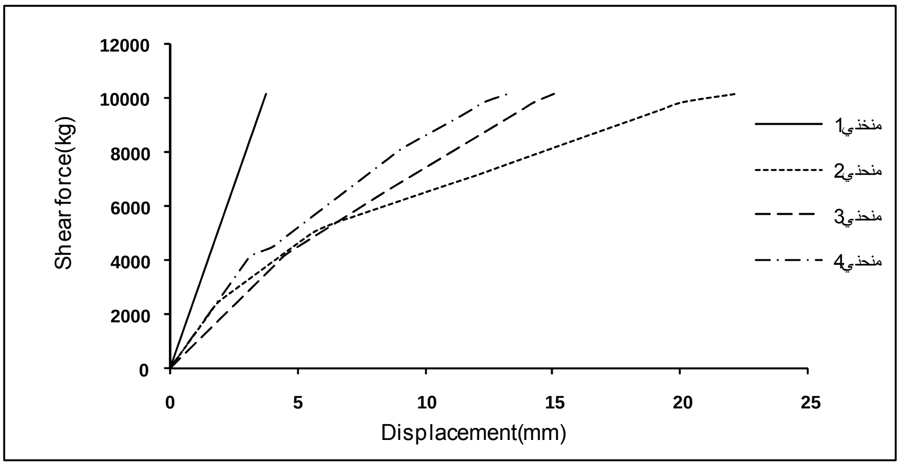
شکل ١٦ الگوسازی ساختمان سه طبقه با اتصالات صلب



شکل ۱۷ مقایسه نیروی ایجاد شده در اتصالات در حالت‌های مختلف

منحنی۱) ساختمان با اتصالات صلب — منحنی۲) ساختمان با اتصالات گونه A

منحنی۳) ساختمان با اتصالات گونه B — منحنی٤) ساختمان با اتصالات گونه C



شکل ۱۸ مقایسه جابه جایی الگوی سه طبقه با اتصالات مختلف

منحنی۱) ساختمان با اتصالات صلب — منحنی۲) ساختمان با اتصالات گونه A

منحنی۳) ساختمان با اتصالات گونه B — منحنی٤) ساختمان با اتصالات گونه C

با مشاهدهٔ نمودار شکل (۱۸) ملاحظه می‌شود که مقدار نیروی بیشینه در اتصالات سازه الگوسازی شده با رفتار غیرخطی- غیرکشسان برای اتصالات A، B و C به ترتیب ۹۷۹/۷، ۱۰٦٤/۱ و ۱۰۳۰/۹ کیلوگرم است. درصورتی‌که این عامل برای الگوی صلب برابر ۷۱۸٤ /۰ کیلوگرم می‌باشد. به سخن دیگر، مقدار این نیرو در حالت غیرخطی در حدود ۱٤ درصد حالت صلب است.

از طرفی با توجه به این که در زلزله های موثر در ناحیه‌های زلزله خیز، سازه ناحیه مومسان خورد می‌شود، نیروهای ایجاد شده در اتصالات کمتر شده و از طرفی دارای توزیع یکنواخت و واقعی نیز خواهد بود؛ بنابراین از نظر فنی- علمی می‌توان اتصالات مورد بحث را برای

نیروی کمتر با امنیت بالاتر نیز طراحی کرد که منجر به کاهش هزینه و اقتصادی‌تر شدن سازه می‌شود.

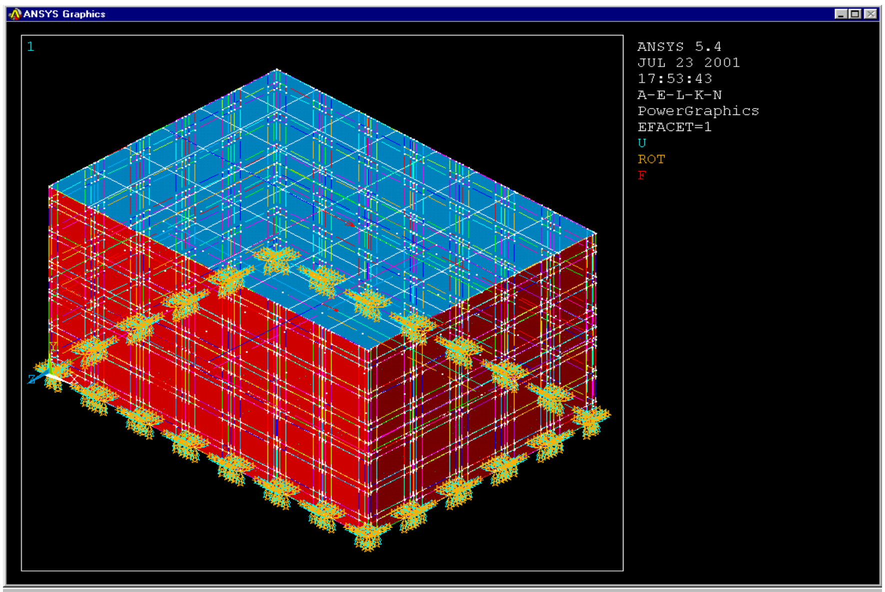
با مشاهدهٔ نمودار شکل (۱۸) دیده می‌شود که مقدار بیشینه جابه جایی برای الگوی غیرخطی با اتصالات A، B و C به ترتیب برابر ۲۲/۱، ۱۵/۰ و ۱۳/۲ میلی‌متر و برای الگوی صلب برابر ۳/۸ میلی‌متر می‌باشد. بنابه شکل (۸) مقدار جابه جایی درحالت غیرخطی برای اتصالات A، B و C به ترتیب ۸/۰، ۴/۵ و ۳/۵ برابر حالت صلب است.

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که درنظر گرفتن رفتار واقعی (غیرخطی- غیرکشسان)اتصالات درسازه، منجربه رفتار نرم و تغییراتی در ضریب رفتار (R)برای ساختار می‌شود. این مسأله نقش عمده‌ای در مقدار و چگونگی بارگذاری لرزه‌ای سازه دارد. به گونه‌ای که می‌تواند به کاهش بارگذاری معادل ایستای توصیه شده در آیین نامه‌های ساختمانی بیانجامد. در حال حاضر در روش‌های طراحی، مقدار R برای سازه های مورد بحث ٤ فرض می‌شود [2,15]، این عدد بیش‌تر برای سازه‌های صلب توصیه می‌شود. با توجه به تغییرات رفتاری سازه با درنظرگرفتن رفتار غیر کشسان و تناوبی (پوش منحنی‌های پسماند (hystersis) ملاحظه می‌شود که برای بررسی و برآورد ضریب رفتار، باید عامل‌های اصلی در محاسبات از تحلیل‌های غیرخطی اتصالات تعیین شود.

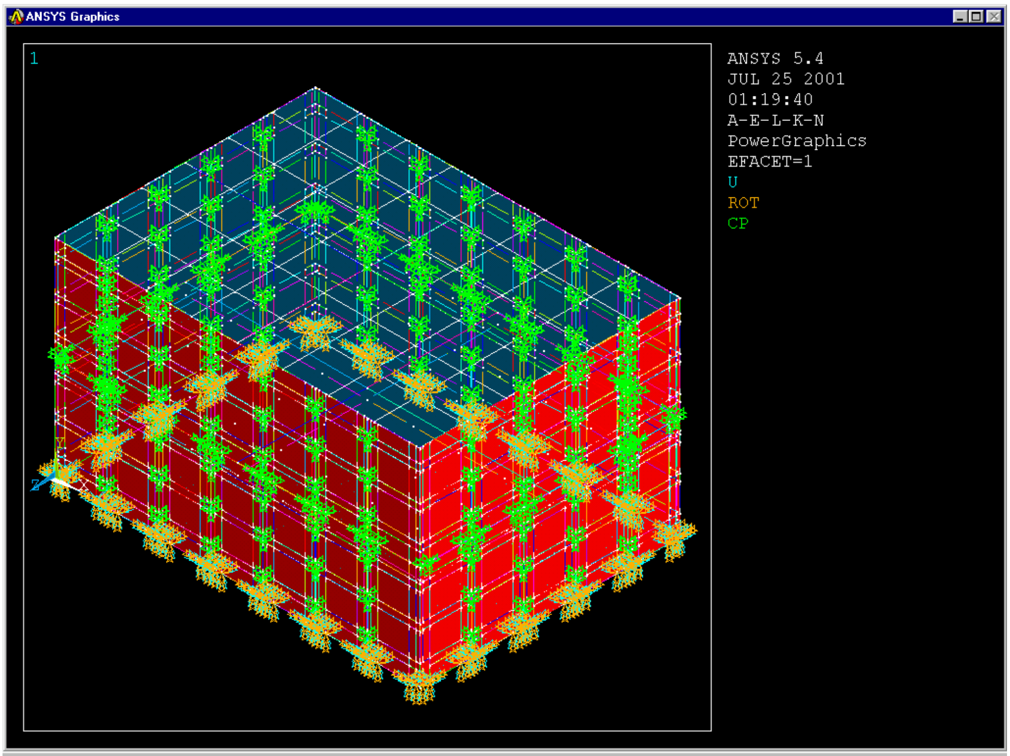
الگوسازی ساختمان دو طبقه

در این بخش یک ساختمان دو طبقه با ابعاد (mm) ۱۰۵۰۰×(mm) ۷۵۰۰ و ارتفاع ٦۰۰۰ میلی‌متر الگوسازی شده است. ارتفاع هر طبقه ۳۰۰۰ میلی‌متر و ابعاد صفحه‌ها و فاصله اتصالات مانند الگوی ساختمان سه طبقه می‌باشد. سامانه بار جانبی زوج دیوارهای پیش ساخته هست که پیرامون ساختمان را دربرگرفته و با اتصالات مورد بررسی، الگوسازی شده است. سقف‌ها به صورت صلب الگو شده‌اند. شکل (۱۹) الگوی جزء محدود با اتصالات معادل شده با فنرهای غیرخطی و شکل (۲۰) الگوی جزء محدود با اتصالات صلب را نشان می‌دهد.

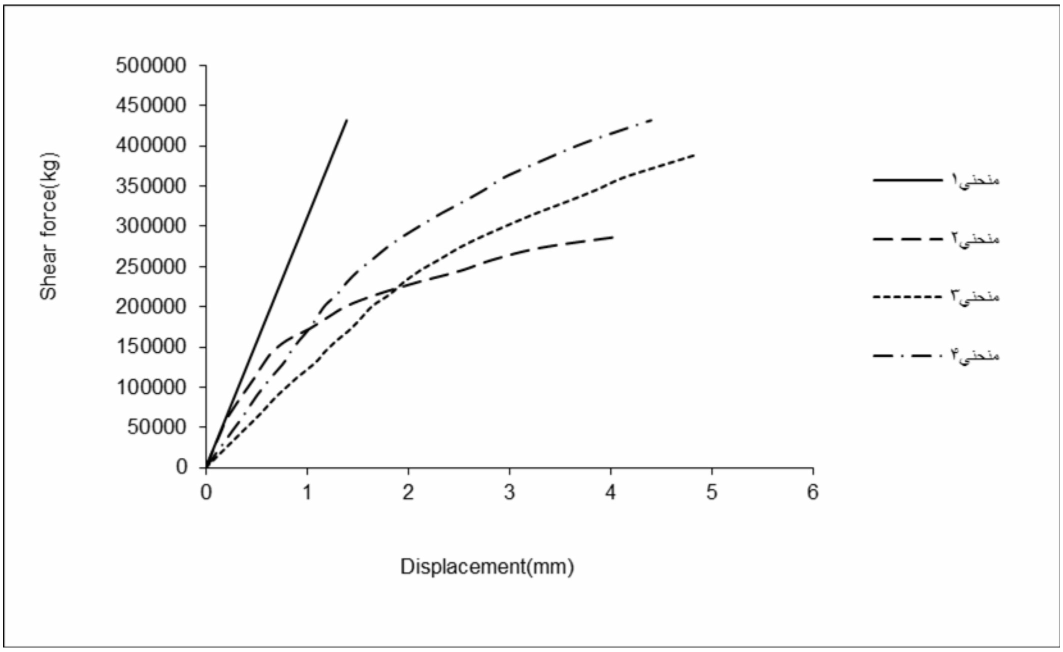
نتیجه‌های تحلیل بر پایه الگوی توصیه شده برای اتصالات A، B و C و الگو با اتصالات صلب در شکل (۲۱) مقایسه شده‌اند. با این نمودارها مشاهده می‌شود که جابه جایی الگو در اثر نیروی معین در بالاترین تراز در حالت صلب کمتر است.



شکل ۱۹ الگوسازی ساختمان دو طبقه با اتصالات غیر خطی A، B و C



شکل ۲۰ الگوسازی ساختمان دو طبقه با اتصالات صلب



شکل ۲۱ مقایسه جابه جایی ساختمان دو طبقه با اتصالات مختلف

منحنی۱) ساختمان با اتصالات صلب — منحنی۲) ساختمان با اتصالات گونه A

منحنی۳) ساختمان با اتصالات گونه B — منحنی٤) ساختمان با اتصالات گونه C

نتیجه گیری

با توجه به تحلیل‌های رایانه‌ای انجام شده در بخش‌های قبل و اهمیت رفتار غیرخطی- غیرکشسان اتصالات، نتیجه‌های زیر به همراه روش‌های بهبود در طراحی ارایه شده است:

۱- بنا به گزارش زلزله‌های گذشته در سازه‌های پیش ساخته، گسیختگی در محل اتصالات رخ می‌دهد و صفحه‌ها در حالت کشسان باقی می‌مانند، بنابراین، می‌توان با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی- غیرکشسان اتصال، رفتار واقعی سازه‌های پیش ساخته را الگوسازی کرده و مورد مطالعه قرار داد.

۲- فنرهای غیرخطی- غیرکشسان برای الگوسازی رفتار تناوبی اتصالات پیش ساخته پیشنهاد شد. نتیجه‌های الگوی رایانه‌ای با نتیجه‌های آزمایشگاهی تطابق کامل دارد و الگوسازی با دقت بالایی انجام شده است.

۳- نتیجه‌ها نشان می‌دهد که مقدار بیشینه جابه جایی برای الگوی غیرخطی اتصالات بین ۳/۵ تا ۸/۰ برابر حالت صلب است .

٤- در روش‌های طراحی موجود در سازه‌های صفحه‌ای پیش ساخته، اتصالات به صورت کامل صلب در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که جابه جایی نسبی در رفتار غیرخطی اتصال متمرکز شده است که با درنظرگرفتن این رفتار در اتصالات سازه این نتیجه‌ها به دست آمدند:

الف- منحنی رفتاری کل سازه متفاوت از حالت اتصالات صلب کامل بوده و تغییر مکان طبقه‌های سازه با در نظر گرفتن اتصالات شکل پذیر در برابر نیروی مشخص، بیشتر از تغییرمکان طبقه‌ها با فرض اتصالات صلب خواهد بود. به گونه‌ای که افزایش تغییر شکل‌های سازه در حدود ٤ برابر می‌باشد.

ب- نیروهای داخلی ایجاد شده دراتصالات با توجه به رفتارغیرخطی- غیرکشسان اتصال، متفاوت از حالت صلب بوده و کاهش نیروهای داخلی در حدود ٦/٧ می‌باشد.

بنابراین با فرض اتصال صلب و در نظر گرفتن نیروی بیشتر وارد بر اتصال، طراحی اتصال غیراقتصادی است ومقداری از ظرفیت اتصال هدر خواهد رفت.

٥- در رفتار واقعی غیرخطی- غیرکشسان اتصال، تغییر مکان‌های نهایی متفاوت ازحالت فرض اتصال صلب خطی می‌باشد و از سوی دیگر، تغییرمکان‌های نهایی، عامل اصلی در محاسبه شکل پذیری سازه و برآورد ضریب رفتار خواهد بود، بنابراین باید در ضریب رفتار سازه‌های پیش ساخته صفحه‌ای با توجه به تحلیل‌های غیرخطی بازبینی شود.

٦- در آیین‌نامه‌های موجود، ظرفیت اتصال با توجه به رفتار کشسان خطی سازه برآورد می‌شود. نتیجه‌های رایانه‌ای نشان می‌دهد که مقاومت اتصال در رفتارهای غیرخطی- غیرکشسان (غیرخطی تناوبی و غیرتناوبی) کاهش داده می‌شود. از این رو، خطرپذیری گسیختگی سازه با فرض رفتار کشسان برای اتصال، بالا خواهد رفت. توصیه می شود مقاومت اتصال برای منطقه‌های لرزه خیز ۸۰ درصد (ضریب β) ظرفیت ایستا در نظر گرفته شود.

مراجع

1. Hartland, R.A., "Precast Concrete Construction", Surry university, london, (1975).
2. Prestressed Concrete Institue, "PCI Design Hand-Book", Third Edition, Chicago, Illinoiss, (1985).
3. Neille, D.S., "Behaviour of Headed Stud Connections for Precast Concrete Panels under Monotonic and Cycled Shear Loading", Ph.D. Thesis, University of British Columbia, (1977).

4. Hofheins, C., Reaveley, D. and Pantelides, C., "Behavior of Welded Plate Connections in Precast Concrete Panels under Simulated Seismic Loads", *PCI Journal,* 74(7), pp.122-133, (2002).
5. Holden, J., Pestrepo, J. and Mandor J.B., "Seismic Performance of Precast Reinforced and Prestressed Concrete Walls", *Journal of Structural Engineering,* 129(3), pp.122-133, (2002).
6. Perez, F.J., Pessiki, S. and Sause R., "Lateral load Behavior of Unbonded Post-Tensioned Precast Walls with Vertical Joints", *PCI Journal,* 49(2), pp.48-64, (2004).
7. Nolan, A., "Innovative Joints in Precast Stractural Solution" Concrete-(London), Vol.39, No.1, pp.29-30, (2005).
8. Wel, Z. and Olive, M.G., "Analytical Method to Determine the Elastic Inplane Behavior of Pretopped, Precast Concrete Double-Tee Diaphragms with Discrete Connection", *PCI Journal,* 52(7), pp.122-133, (2007).
9. Barboza, A., R. and El Debe, M.K., "Load- Bearing Capacity of Mortar Joints between Precast Elements", Magazine of Concrete Research, 58(9), pp.589-599, (2008).
10. Shariatmadar, H., *"Seismic Response of Connections in Precast Cocrete Double-Tees"*, Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Monteal Canada, p.427, (1997).
11. Shariatmadar, H. and Mirza M.S., "An Investigation of Seismic Response of Connections in Precaste Concrete Double-Tee", *Proceedings of CSCE Annual Conference,* Ottawa, Ontario, Canada, pp. 373-380, (1995).
12. Shariatmadar, H *"An Investigation of Seismic Response of Connections in Precast Concrete Double-Tees"*, M.Eng.Thesis, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, Canada, p. 210, (1992).
13. Spencer, R.A., and Neille, D.S., "Cyclic Tests of Welded Headed Stud Connections", *PCI Journal*, 21(3), pp.70-83, (1976).

۱۴. جاهد مطلق، ح. ر. و نوبان، م.ر واشراقی ، م.ا . " اجزای محدود ANSYS"، دانشگاه علم و صنعت، (۱۳۸۰).

۱۵. "آیین نامه طراحی ساختمان‌ها دربرابر زلزله"، نشریه شماره ۲۵۳، ویرایش سوم، استاندارد۲۸۰۰، (۱۳۸۴).